การประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์และต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ของการบำบัดขยะติดเชื้อทางการแพทย์ กรณีศึกษา: โรงพยาบาลลำปาง

CARBON FOOTPRINT AND ECONOMIC COST EVALUATION OF MEDICAL WASTE TREATMENT CASE STUDY: LAMPANG HOSPITAL

Sonesack Sengnavong[1]
Nattaporn Chaiyat[1*]
Chawaroj Jaisin[1]
Wassamol Lerdjaturanon[1]
Chakkraphan Thawonngamyigsakul[2]
[1] วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้
[2] คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตตาก
* Email: benz178tii@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากระบวนการของการบำบัดขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง โดยวิธีการบด ย่อย และการฆ่าเชื้อด้วยความร้อน จากเครื่อง ECODAS รุ่น T300 ร่วมกับหม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้า โดยทำการประเมินอัตราการใช้พลังงานของกระบวนการบำบัด ผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมของกระบวนการบำบัด และค่าต้นทุนต่อหน่วยของการบำบัด โดยผลการศึกษาพบว่า พลังงานหลักที่ป้อนให้แก่ระบบบำบัดขยะติดเชื้อแบบบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน คือ ไฟฟ้าในอัตรา 39.91 kWh/day และน้ำในปริมาณ 1,082 Liter/day ที่ระยะเวลาการทำงาน 19 h/day ผลการประเมินด้านสิ่งแวดล้อม พบว่า การบำบัดขยะติดเชื้อปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนรวมทั้งสิ้น 9,676,035 kg CO_2-eq ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี คิดเป็น 1.767 kg CO_2-eq/kg_{MCW} และการประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า การจัดการขยะติดเชื้อ 1 kg_{MCW} มีต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อเท่ากับ 3.185 Baht/kW_{MCW}

คำสำคัญ: ขยะติดเชื้อ คาร์บอนฟุตพรินท์ ต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์ ต้นทุนต่อหน่วย

Abstract

This research studies the medical waste treatment process of Lampang hospital by using shredding heating and sterilization from the ECODAS model T300 operated with the electrical boiler. Energy consumption, environmental impact and levelized cost of treatment process are considered. From the study results, it could be found that the main energy consumption and the raw material input of treatment process is the electrical power at 39.91 kWh/day and water of 1,082 Liter/day based on the operating time at 19 h/day. The environmental results, it could be seen that the treatment technique releases the total carbon dioxide to be 9,676,035 kg CO_2-eq for the life time at 20 year, which is 1.767 kg CO_2-eq/kg_{MCW}. In the economic cost, this method could be shown that the levelzied cost for managing medical waste at 1 kg_{MCW} is 3.185 Baht/kW_{MCW}.

Keywords: Medical waste, Carbon footprint, Economic cost, Levelized cost

1. บทนำ

ขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลจัดว่าเป็นขยะที่ต้องมีกระบวนการกำจัดที่พิเศษกว่าขยะปกติ คือ ต้องฆ่าเชื้อที่อยู่ในขยะให้หมดไปก่อน จากนั้นจึงสามารถนำไปทิ้งรวมกับขยะทั่วไปได้ รวมทั้งในปัจจุบันมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะติดเชื้อในโรงพยาบาลต่าง ๆ ทั่วประเทศอย่างต่อเนื่อง [1]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการบำบัดขยะติดเชื้อมีดังต่อไปนี้ Bujak [2] นำเสนอการนำขยะติดเชื้อมาเผาเพื่อผลิตไอน้ำที่ความดันมากกว่า 22 bar และนำไปผลิตไฟฟ้าโดยไมโครเทอร์ไบน์ โดยมีประสิทธิภาพของระบบประมาณ 79.0% รวมทั้ง Bujak [3] ยังนำเสนอการเพิ่มตัวกรองไอเสียลดปริมาณคาร์บอน ซึ่งผลการศึกษาพบว่าสามารถกำจัดปริมาณคาร์บอนก่อนการปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ไม่เกิน 3.0% Bujak [4] ยังได้นำเสนอกระบวนการนำความร้อนทิ้งจากไอเสียกลับมาใช้ประโยชน์ โดยติดตั้งอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนที่ปล่องไอเสีย เพื่อผลิตไอน้ำอุณหภูมิโดยมีค่าเฉลี่ย 192.8 °C และนำไปผลิตไฟฟ้าโดยระบบไมโครเทอร์ไบน์ ที่มีประสิทธิภาพของระบบผลิตไฟฟ้าประมาณ 70.7% Shen [5] นำขยะติดเชื้อมาบดให้มีขนาดเล็กลงและนำไปผสมรวมกับชีวมวล เพื่อนำไปผลิตถ่านโดยวิธีการไฮโดรเทอร์มัล (Hydrothermal)

ซึ่งจากงานวิจัยต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น สามารถสรุปได้ว่า ยังไม่มีงานวิจัยใดที่ทำการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมและต้นทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของการบำบัดขยะติดเชื้อโดยกระบวนการบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ดังนั้นจึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ ที่ต้องการนำขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง มาบำบัดเพื่อผลิตเชื้อเพลิงจากขยะติดเชื้อ และทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยวิธีการคาร์บอนฟุตพรินท์ (Carbon footprint) รวมถึงประเมินค่าต้นทุนต่อหน่วย (Levelized cost, LC) ของการบำบัดขยะติดเชื้อต่อไป

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวของ

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อด้วยการบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน มีดังต่อไปนี้

2.1 ขยะติดเชื้อ

ขยะติดเชื้อถือได้ว่ามีความเสี่ยงด้านสุขภาพและสิ่งแวดล้อม โดยองค์การอนามัยโลกได้กล่าวว่า [6] การจัดการขยะติดเชื้อที่ไม่ถูกสุขลักษณะ อาจทำให้ผู้ดูแลสุขภาพผู้ขนถ่ายผู้ป่วยและชุมชน โดยมากต้องติดเชื้อจากผลกระทบที่เป็นพิษและการบาดเจ็บ เกิดความเสี่ยงต่อการเกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งจำเป็นที่วัสดุทางการแพทย์ทั้งหมดถูกแยกออกจากจุดเริ่มต้นการบำบัดและการกำจัดอย่างเหมาะสม

จากคำจำกัดความของคณะอนุกรรมการศูนย์วิชาการการแก้ไขปัญหาปัญหาโดย ขยะติดเชื้อหมายถึงสิ่งของที่ไม่ต้องการหรือถูกทิ้งจากสภานพยาบาล อาทิเช่น สำลี ผ้ากอซ กระดาษชำระ เข็มฉีดยา มีดผ่าตัด และเสื้อผ้า ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 1 ขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง

2.2 การบำบัดขยะติดเชื้อ

หลักการทำงานของเครื่องบำบัดขยะติดเชื้อแบบบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน ดังแสดงในรูปที่ 2 คือ การบรรจุขยะจากถังขยะเข้าสู่เครื่อง (Loading) จากนั้นทำบดย่อยขยะติดเชื้อให้มีขนาดเล็กลงน้อยกว่า 2 Inch (Shredding) และป้อนไอน้ำอุณหภูมิมากกว่า 135 °C เพื่อเพิ่มอุณหภูมิให้แก่ขยะและฆ่าเชื้อโรค (Heating and sterilization) โดยทั้ง 2 กระบวนการจะใช้เวลาประมาณ 30 Minute เมื่อเสร็จกระบวนการด้านความร้อน จะใช้น้ำป้อนให้แก่ขยะเพื่อระบายความร้อน (Cooling) เมื่อขยะเย็นตัวลงจะเข้าสู่กระบวนการดึงน้ำและอากาศออกจากขยะ (Draining) เพื่อทำให้เกิดสุญญากาศ (Vacuum) เป็นการฆ่าเชื้อจากขยะขั้นตอนสุดท้าย จากนั้นจึงถ่ายขยะออกจากเครื่องกำจัด (Unloading) เพื่อนำไปทิ้งรวมกับขยะทั่วไปต่อไป

รูปที่ 2 กระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อแบบบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน [7]

2.3 คาร์บอนฟุตพรินท์ (Carbon Footprint)

การประเมินการปล่อยก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse gases) หรือคาร์บอนฟุตพรินท์ของผลิตภัณฑ์ หมายถึง ปริมาณก๊าซเรือนกระจกที่ปล่อยออกมาจากผลิตภัณฑ์ แต่ละหน่วยตลอดจักรของผลิตภัณฑ์ 4 ขั้นตอน ตามหลัก หลัก ISO 14040 คือ การกำหนดเป้าหมายและขอบเขตการศึกษา การวิเคราะห์บัญชีรายการ การประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการแปรผล โดยต้องวิเคราะห์ตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิตผลิตภัณฑ์ตามหน่วยการทำงาน (Functional unit, FU) ที่ได้ทำการกำหนด การได้มาซึ่งวัตถุดิบ กระบวนการผลิต การใช้งานและการจัดการซากหลังจากใช้งาน โดยคำนวณออกมาในรูปของคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$CFP = \sum_i A_i EF_i \qquad \text{สมการที่1}$$

โดยที่ CFP ปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์เทียบเท่า (kg CO_2-eq)

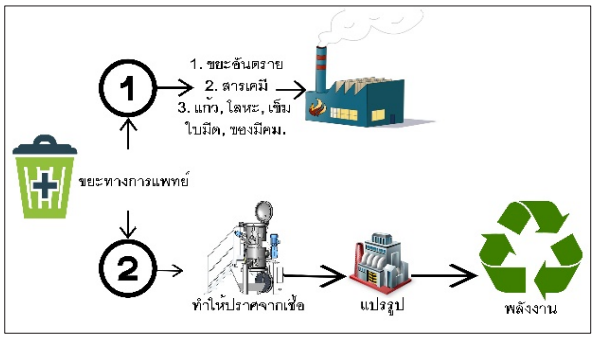
A_i กิจกรรมต่าง ๆ (Unit)

EF_i ค่าเฟคเตอร์การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ (kg CO_2-eq/Unit)

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยของการศึกษานี้ มีดังต่อไปนี้

3.1 ทำการศึกษาขั้นตอนการกำจัดขยะของโรงพยาบาลลำปาง ดังแสดงในรูปที่ 3 เพื่อประเมินองค์ประกอบทางกายภาพของขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้น



รูปที่ 3 กระบวนการจัดการขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง

3.2 ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลวัสดุ (Raw materials) ที่ใช้ในการสร้างอาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง และวัสดุที่ใช้ในการสร้างระบบบำบัดขยะติดเชื้อ

3.3 สำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นในแต่ละวัน เป็นระยะเวลา 4 วัน

3.4 สำรวจและเก็บข้อมูลปริมาณพลังงานและวัตถุดิบ (Input energy and raw materials) ที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการกำจัดขยะติดเชื้อโดยวิธีย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน

3.5 ทำการประเมินผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมโดยคาร์บอนฟุตพรินท์ ที่มีการกำหนดขอบเขตการศึกษา คือ แบบประตูสู่ประตู (Gate to gate) ที่ขยะติดเชื้อเข้าสู่อาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง บำบัดขยะติดเชื้อด้วยการบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน และใส่ถุงดำรอการนำไปกำจัดรวมกับขยะทั่วไป รวมทั้งกำหนดให้หน่วยการศึกษา (Functional unit, FC) คือ ปริมาณขยะติดเชื้อ 1 kg ก่อนเข้าสู่กระบวนการบำบัด

3.6 ประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ โดยต้นทุนต่อหน่วยการบำบัดขยะติดเชื้อ 1 kg ดังแสดงในสมการต่อไปนี้

$$LC = \frac{Inv + \sum_{i=1}^{N} \frac{PC}{(1+r)^t}}{\sum_{i=1}^{N} M_{MCW} t_{OP}} \qquad \text{สมการที่ 2}$$

โดยที่

LC	ค่าต้นทุนต่อหน่วย (Baht/kg_{MCW})
Inv	มูลค่าการลงทุน (Baht)
PC	ค่าใช้จ่ายรายปี (Baht/y)
M_{MCW}	มวลของขยะ (kg_{MCW})
t_{OP}	ระยะเวลาการทำงาน (day/y)
N	อายุการใช้งาน (y)

4. ผลการดำเนินงานวิจัย

ผลการศึกษาของงานวิจัย มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะติดเชื้อ

จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลลำปาง ดังแสดงในรูปที่ 3 พบว่า กระบวนการจัดการขยะติดเชื้อในขั้นแรก คือ การคัดแยกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน อันประกอบไปด้วย ส่วนที่ 1 เป็นขยะติดเชื้อที่มีคมและโลหะ ที่ต้องเข้าสู่กระบวนการฆ่าเชื้อและบดโลหะก่อน จากนั้นจึงนำเข้าสู่เครื่องบำบัดต่อไป และส่วนที่ 2 เป็นขยะที่สามารถนำเข้าเครื่องบำบัดได้เลย โดยข้อมูลสัดส่วนของขยะติดเชื้อที่ได้จากการสำรวจ ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางกายภาพของขยะติดเชื้อ

ขยะติดเชื้อ	ปริมาณ (%)
พลาสติก	35
สำลี	10
ผ้ากอซ และผ้าพันแผล	15
กระดาษชำระ	20
เข็มฉีดยา	15
มีดผ่าตัด	5

4.2 ปริมาณวัสดุที่ใช้ในการสร้างอาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง

อาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง มีขนาดของโรงเรือน กว้าง 10 m x ยาว 20 m x สูง 10 m เป็นอาคารปูนและมีหลังคาทำจากเมทัลชีท ดังแสดงในรูปที่ 4 ภายในบรรจุเครื่องกำจัดขยะติดเชื้อยี่ห้อ ECODAS รุ่น T300 และหม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้า ขนาด 45 kW_e ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลและประเมิน แสดงในตารางที่ 2

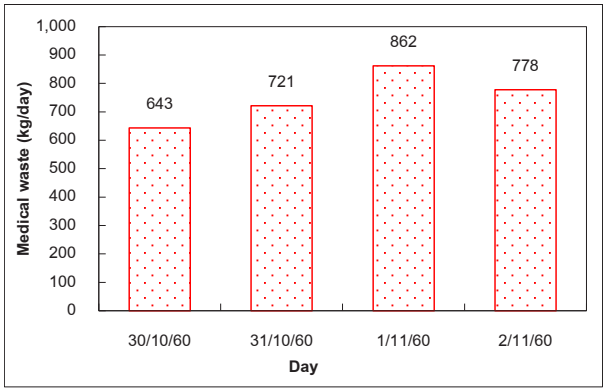
รูปที่ 4 อาคารบริหารจัดการขยะติดเชื้อ โรงพยาบาลลำปาง

ก) ECODAS รุ่น T300 ข) หม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้า

รูปที่ 5 อุปกรณ์การบำบัดขยะติดเชื้อ

4.3 ปริมาณขยะติดเชื้อต่อวัน

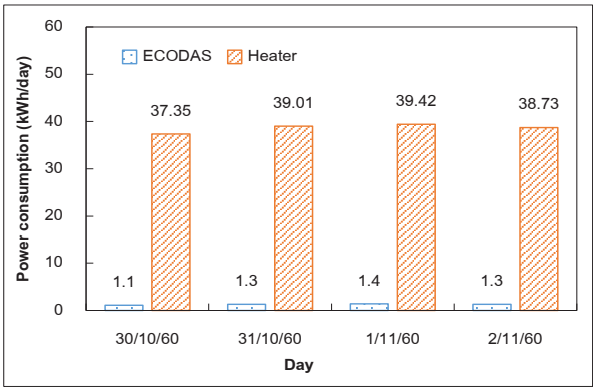
จากการเก็บรวบรวมข้อมูลปริมาณขยะติดเชื้อเป็นเวลา 4 วัน (30 ตุลาคม พ.ศ. 2560 ถึง 2 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560) พบว่า ปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นต่อวันมีค่าเฉลี่ยประมาณ 750 kg/day แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นจากกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ

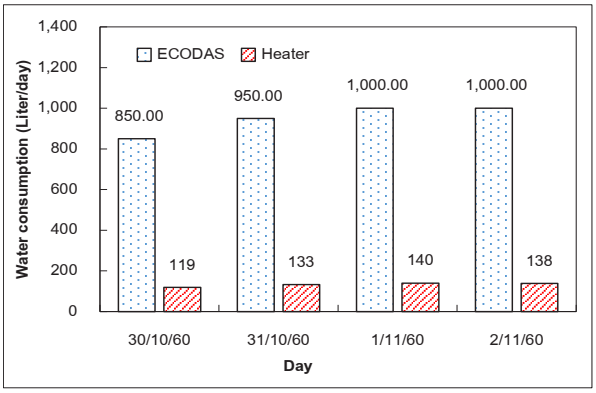
4.4 ปริมาณพลังงานและวัตถุดิบที่ป้อนเข้าสู่กระบวนการกำจัดขยะติดเชื้อ

พลังงานที่ใช้ในการป้อนให้แก่เครื่อง ECODAS และหม้อไอน้ำแบบขดลวดไฟฟ้า คือ พลังงานไฟฟ้า โดยมีปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 1.28 kWh/day ในขณะที่พลังงานไฟฟ้าส่วนมากสูญเสียไปกับการผลิตไอน้ำด้วยขดลวดไฟฟ้าอยู่ที่ประมาณ 38.63 kWh/day โดยมีชั่วโมงการทำงานอยู่ที่ 19 h/day ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 การใช้ไฟฟ้าของอุปกรณ์บำบัดขยะติดเชื้อ

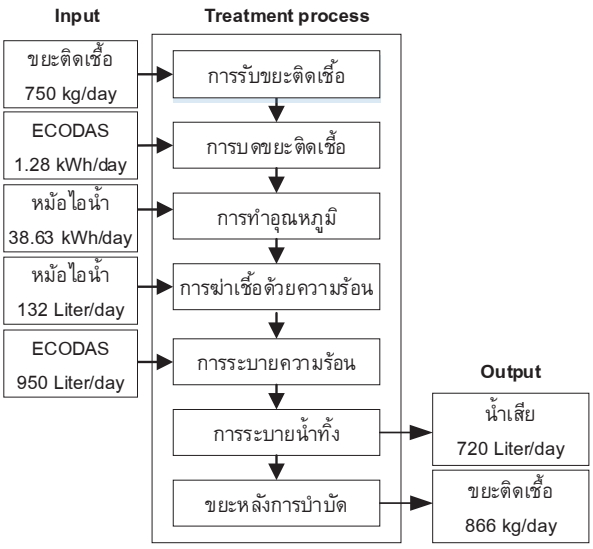
นอกจากไฟฟ้าแล้ว ในกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อต้องใช้น้ำเป็นทรัพยากรที่สำคัญในการบำบัด โดยใช้ปริมาณน้ำในการระบายความร้อนของเครื่อง ECODAS ปริมาณ 950 Liter/day และใช้น้ำในการผลิตไอน้ำในกระบวนการฆ่าเชื้อจากหม้อไอน้ำแบบไฟฟ้าปริมาณ 132.50 Liter/day ดังแสดงในรูปที่ 8



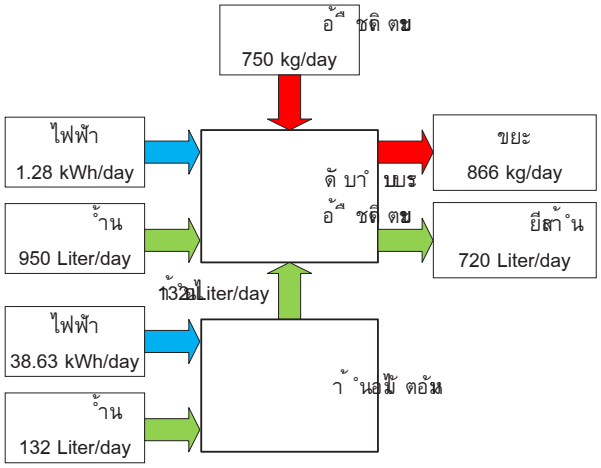
รูปที่ 8 การใช้น้ำของอุปกรณ์บำบัดขยะติดเชื้อ

4.5 การประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์

จากการสำรวจและเก็บข้อมูลพลังงานและวัตถุดิบที่ป้อนให้แก่ระบบ ดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10 ร่วมกับข้อมูลปริมาณวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างโรงเรือนและระบบบำบัดขยะติดเชื้อ ดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่า การเกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมจากคาร์บอนฟุตพรินท์ของกระบวนการบำบัดขยะติดเชื้อ เป็นผลที่เกิดขึ้นทางอ้อม (Indirect) ทั้งหมด ไม่มีการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกโดยตรง (Direct) โดยขั้นตอนการบำบัดขยะติดเชื้อปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนมากที่สุด คือ 9,667,026.48 kg CO_2-eq ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี มีการปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนของขั้นตอนการสร้างโรงเรือนและเครื่องบำบัดเท่ากับ 23,337.36 kg CO_2-eq และเมื่อหมดอายุการใช้งาน นำวัสดุบางชนิดกลับมาใช้งาน สามารถลดปริมาณคาร์บอนได้เท่ากับ 14,328.90 kg CO_2-eq ดังนั้นตลอดอายุการใช้งานจะมีปริมาณคาร์บอนเกิดขึ้นสุทธิ 9,676,035 kg CO_2-eq คิดเป็น 1.767 kg CO_2-eq/kg_{MCW} ดังแสดงผลการวิเคราะห์ในตารางที่ 2



รูปที่ 9 การวิเคราะห์ตามขั้นตอนวัฏจักรชีวิต



รูปที่ 10 มวลและพลังงานที่เข้าและออกระบบบำบัดขยะติดเชื้อ

ตารางที่ 2 การประเมินคาร์บอนฟุตพรินท์

Raw material	Quantity	Unit	EF[1]	GHG
Construction phase				
Building and construction material				
Cast iron	1,350	kg	1.51	2,038.50
Metal sheet zine	834	kg	0.437	364.46
Concrete	6,435	kg	0.31	1,994.85
Concrete block	4,315	kg	0.31	1,337.65
Screws, nut and bolt	15	kg	0.57	8.55
Sanitary ceramics	2,039	kg	2.4	4,893.60
Wood window	28	kg	0.095	2.66
Class	68	kg	1.26	85.68
Aluminum alloy	40	kg	6.33	253.20
Warehouse door and class door	22	kg	2.31	50.82
Wire mesh	159	kg	2.31	367.29
ECODAS				
Stainless steel 80%	2,480	kg	3.38	8,382.40
Iron, steel and production mix	30	kg	0.9	27.00
Steel, low-alloyed and hot rolled	297	kg	2.31	686.07
Reinforcing steel	95	kg	2.52	239.40
Aluminum	80	kg	6.33	506.40
Spathic	40	kg	1.067	42.68
Steel, low-alloyed and hot rolled	50	kg	2.31	115.50
PVC	18	kg	0.41	7.38
Plastic	15	kg	0.065	0.98
Motor				
Carbon steel	200	kg	2.31	462.00
Steel, low-alloyed and hot rolled	150	kg	2.31	346.50
Stainless steel hot rolled coil	70	kg	3.31	231.70
Copper	80	kg	5.1	408.00
PVC	15	kg	0.41	6.15
Heater				
Cast iron	64	kg	1.51	96.64
Pipe (Alloy steel)	9	kg	0.474	4.27
PVC	0.5	kg	2.19	1.10
Metal sheet	40	kg	0.47	18.80
Plastic	2	kg	0.065	0.13
Copper	70	kg	5.1	357.00
Operation phase				
Medical waste				
Plastic	262.50	kg/day	0.411	787,578
Water	75.00	kg/day	0.704	385,440
Fabric	112.50	kg/day	2.00	1,642,500
Cotton fiber	150.00	kg/day	2.71	2,967,450
Stainless steel	150.00	kg/day	3.38	3,701,100
ECODAS				
Water	0.95	m^3/day	0.704	4,882.24
Electricity	1.275	kWh/day	0.609	5,668
Heater				
Water	0.13	m^3/day	0.704	680.94
Electricity	38.628	kWh/day	0.609	171,726
Decommissioning (Recycle)				
Cast iron	1,414	kg	-2.1	(2,969.40)
Metal sheet zine	834	kg	-2.1	(1,751.40)
Aluminum alloy	40	kg	-16.2	(648.00)
Stainless steel 80%	2,480	kg	-2.1	(5,208.00)
Steel, low-alloyed and hot rolled	497	kg	-2.1	(1,043.70)
Reinforcing steel	95	kg	-2.1	(199.50)
Aluminum	80	kg	-16.2	(1,296.00)
Spathic	40	kg	-2.1	(84.00)
Carbon steel	200	kg	-2.1	(420.00)
Stainless steel hot rolled coil	70	kg	-2.1	(147.00)
Copper	150	kg	-3.06	(459.00)
Pipe (Alloy steel)	9	kg	-2.1	(18.90)
Metal sheet	40	kg	-2.1	(84.00)
Total GHG emission (kg CO_2-eq/Lifetime)				9,676,035
Total GHG emission (kg CO_2-eq/kg_{MCW})				1.767

หมายเหตุ: [1] อ้างอิงค่าเฟคเตอร์การปลดปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์จาก IPCC [8] และ อบก. [9]

4.6 การประเมินผลทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากการสำรวจและรวบรวมข้อมูลการลงทุนและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น เพื่อประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ ผลการศึกษาพบว่า การบำบัดขยะติดเชื้อ 1 kg_{MCW} จะมีต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อเท่ากับ 6.069 Baht/kW_{MCW} ดังแสดงรายละเอียดการคำนวณและผลการประเมินในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 การประเมินต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อ

รายละเอียด	ปริมาณ
มูลค่าระบบบำบัดขยะ (Inv_{ECODUS}, Baht)	12,000,000
มูลค่าโรงเรือน ($Inv_{Building}$, Baht)	975,000

มูลค่าการลงทุนรวม (Inv, Baht)	12,975,000
ค่าไฟฟ้าต่อปี ($PC_{Electricity}$, Baht/y)	61,477
ค่าน้ำประปาต่อปี (PC_{Water}, Baht/y)	3,753
ค่าจ้างคนงาน (2 คน) ต่อปี (PC_{OP}, Baht/y)	360,000
ค่าใช้จ่ายรวมรายปี (PC, Baht/y)	425,230
มวลของขยะ (M_{MCW}, kg_{MCW}/day)	750
ระยะเวลาการทำงาน (t_{OP}, day/y)	365
อายุการใช้งาน (N, y)	20
ค่าต้นทุนต่อหน่วย (LC, Baht/kg_{MCW})	3.185

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาของงานวิจัยนี้ สามารถสรุปเนื้อหาสำคัญได้ดังนี้

1. พลังงานหลักที่ป้อนให้แก่ระบบบำบัดขยะติดเชื้อแบบบด ย่อย และฆ่าเชื้อด้วยความร้อน คือ ไฟฟ้าในอัตรา 39.91 kWh/day และน้ำในปริมาณ 1,082 Liter/day
2. การบำบัดขยะติดเชื้อปลดปล่อยปริมาณคาร์บอนรวมทั้งสิ้น 9,676,035 kg CO_2-eq ตลอดอายุการใช้งาน 20 ปี คิดเป็น 1.767 kg CO_2-eq/kg_{MCW}
3. การประเมินความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ พบว่า การจัดการขยะติดเชื้อ 1 kg_{MCW} มีต้นทุนต่อหน่วยของการกำจัดขยะติดเชื้อเท่ากับ 3.185 Baht/kW_{MCW}

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ วิทยาลัยพลังงานทดแทน มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ภายใต้ “โครงการผลิตและพัฒนาศักยภาพบัณฑิตทางด้านพลังงานทดแทน ในกลุ่มประเทศอาเซียนสำหรับนักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา” และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้ “แผนงานพลังงานทดแทนภายใต้โครงการความร่วมมือระหว่างไทย-จีน 2560 และขอขอบคุณ โรงพยาบาลลำปาง และบริษัท นำวิวัฒน์การช่าง (1992) จำกัด ที่สนับสนุนด้านสถานที่ในการศึกษาวิจัย

7. อ้างอิง

[1] ศูนย์อนามัยที่ 5, กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข. ระบบออนไลน์: http://www.hpc.go.th, เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560.

[2] Bujak J W. Production of waste energy and heat in hospital facilities. Energy 2015;91:350-362.

[3] Bujak J W. Thermal treatment of medical waste in a rotary kiln. J Environ Manage 2015;162:139-47.

[4] Bujak J W. Heat recovery from thermal treatment of medical waste. Energy 2015;90:1721-1732.

[5] Shen Y, Yu S, Ge S, Chen X, Ge X, Chen M. Hydrothermal carbonization of medical wastes and lignocellulosic biomass for solid fuel production from lab-scale to pilot-scale. Energy 2017;118:312-323.

[6] World health organization topic is health care and medical waste by department of public health, Environmental and social determinants of health. Online: http://www.who.int, Accessed: 9 December 2017.

[7] ECODAS. Online: www.contact@ecodas.com, Accessed: 9 December 2017.

[8] IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2, Energy. Online: http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol2.html, Accessed: 9 December 2017.

[9] องค์การบริหารจัดการก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน), Emission factor. ออนไลน์: http://thaicarbonlabel.tgo.or.th/admin/uploadfiles/emission/ts_822ebb1ed5.pdf, เข้าถึงเมื่อ: 9 ธันวาคม 2560.